

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Gambaran Umum Metode Penelitian

Dalam melakukan sebuah penelitian diperlukan metode serta langkah-langkah yang jelas dan sistematis untuk memperoleh suatu hasil penelitian yang baik. Adapun langkah-langkah metode penelitian sebagai berikut:

1. Studi literatur

Metode penelitian dimulai dengan mencari studi literatur yang berhubungan dengan penelitian ini, yaitu teori-teori yang berhubungan dengan CSTR, SM, PI, dan pemodelan matematis sistem *non linier* multivariabel CSTR.

2. Menguji Pemodelan Matematis Sistem CSTR dan *Decoupler*

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian terhadap pemodelan matematis dari penelitian sebelumnya pengujian dilakukan dengan mengubah pemodelan matematis kedalam bentuk program simulasi perangkat lunak *Simulink Matlab*. Hal pertama yang dilakukan adalah mentransformasikan model CSTR, kemudian dilanjutkan mentransformasikan *decoupler*. Setelah dilakukan pengujian model matematis ternyata *decoupler* yang dirancang berhasil memisahkan pengaruh *coupled system* hal ini dibuktikan dengan hasil simulasi yang dilakukan.

3. Pemilihan Pengendali

Pemilihan pengendali didasari pada studi pustaka, dalam mengendalikan sistem yang multivariabel maka dipilihlah metode SMC. Meskipun metoda ini kebanyakan untuk sistem SISO tapi dengan menggunakan metoda *Decouple SMC* ini bisa diterapkan pada sistem MIMO.

4. Perancangan pengendali

Pada tahapan ini dilakukan perancangan pengendali *hybrid proporsional integral sliding mode* memahami dasar – dasar aksi kendali *Propositional Integral (PI)*. kemudian merancang aksi kendali PI dan *Sliding Mode Controller (SMC)* untuk meminimalisir *error steady state* dan menguji performansi pengendali PI dan *Sliding Mode Controller*.

5. Analisa

Dalam analisa penelitian ini ada tiga tahapan yaitu:

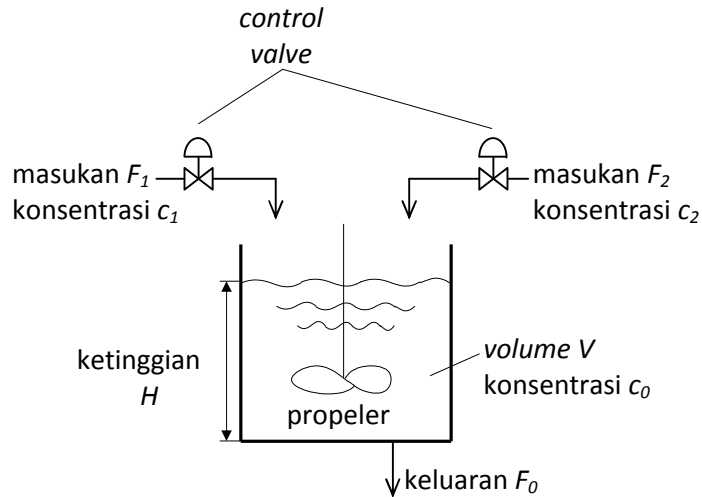
- a. Menganalisa pengendali *Decouple Sliding Mode* untuk mencapai *Setpoint Level* dan Konsentrasi pada sistem CSTR,
- b. Menganalisa Pengendali *Sliding Mode* dengan penambahan pengendali PI dalam mengatasi perubahan *Setpoint Level* dan Konsentrasi, dan
- c. Menganalisa Pengendali *Decouple Sliding Mode* dalam mengatasi gangguan pada masing-masing sinyal kontrol *Level* dan Konsentrasi pada sistem CSTR

3.2 Flow Chart Penelitian



3.3 Pemodelan Matematis Sistem CSTR

Sistem CSTR adalah sebuah tangki pengaduk yang digunakan untuk mencampur dua fluida atau lebih. Pemodelan matematis sistem CSTR dilakukan dengan cara menurunkan persamaan berdasarkan hukum-hukum fisika, kimia dan matematika. Ilustrasi untuk CSTR dapat dilihat pada Gambar 3.1. Pada penelitian ini akan dikendalikan dua variabel sekaligus yaitu *level* dan konsentrasi pada sistem CSTR.



Gambar 3.1. Sistem CSTR

Sumber (Dian,2012)

Level
$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{A} F_{in} - \frac{K_c}{A} \sqrt{H}$$

konsentrasi
$$\frac{dC_0}{dt} = \frac{1}{AH} \{(C_1 - C_0)F_1 + (C_2 - C_0)F_2\}$$

Tabel 3.1. Parameter proses CSTR

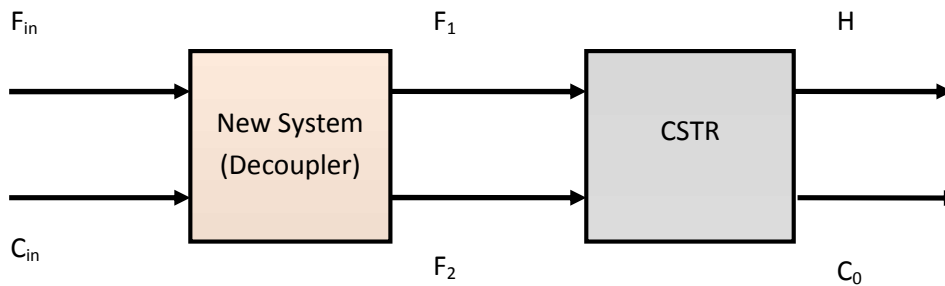
Laju aliran 1	$F_1 = 0.6m^3 / s$
Laju aliran 2	$F_2 = 0.15m^3 / s$
Konsentrasi 1 (konstan)	$C_1 = 1kmol^3 / s$
Konsentrasi 2 (bervariasi)	$C_2 = 1.2kmol^3 / s - 1.4kmol^3 / s$
Volume	$V = 1m^3$
Luas Tangki	$A = 1$
Konstanta Celah (beban)	$K_c = 0.5 - 1$
Konstanta Pengaduk	$K_p = 0.2$

Sumber:(Dian, 2012)

3.4 Pengujian Pemodelan Matematis CSTR dan *Decoupler*

Decoupler dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan *coupled system*. Sistem CSTR merupakan sistem non linier sehingga perancangan *decoupler* tidak dapat dilakukan dengan pendekatan *transfer function* maupun pendekatan persamaan *state*. Perancangan *decoupler* pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode pendefinisian *state* dengan dirinya sendiri. Dengan demikian, metode decouple yang digunakan adalah dengan cara merancang sebuah sistem baru untuk mendapatkan *virtual manipulated variable* yaitu F_{in} dan C_{in} . Disain sistem baru ini disebut dengan *decoupler*.

Ilustrasi pengendalian sistem CSTR dengan *decoupler* dapat digambarkan dengan diagram blok. Gambar 3.12 menunjukkan diagram blok dengan disain sistem baru (*decoupler*) yang dirancang.



Gambar 3.2 Diagram Blok dengan *Decoupler*

Perancangan *decoupler* pada sistem CSTR dimulai dengan merancang sistem baru, dengan mendefinisikan *virtual manipulated variabel* seperti pada persamaan (3-1) :

$$F_{in} = F_1 + F_2 \quad (3-1)$$

$$C_{in} = \frac{C_1 F_1 + C_2 F_2}{F_1 + F_2} \quad (3-2)$$

Di mana F_1 ; F_2 sebagai fungsi C_{in} dan F_{in} .

Untuk konsentrasi C_1 :

$$\begin{aligned} C_1 F_1 + C_1 F_2 &= C_1 F_{in} \\ C_1 F_1 + C_2 F_2 &= C_{in} F_{in} \\ \hline F_2 &= \frac{1}{(C_1 - C_2)} \{C_1 F_{in} - C_{in} F_{in}\} \end{aligned} \quad (3-3)$$

Untuk konsentrasi C_2 :

$$\begin{aligned} C_2 F_1 + C_2 F_2 &= C_2 F_{in} \\ C_1 F_1 + C_2 F_2 &= C_{in} F_{in} \end{aligned} \quad (3-4)$$

$$F_1 = \frac{1}{(C_2 - C_1)} \{C_2 F_{in} - C_{in} F_{in}\}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (3.1) ke persamaan (2.11), sehingga pemodelan matematis untuk *level* menjadi:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{A} (F_1 + F_2) - \frac{K_c}{A} \sqrt{H} \quad (3.5)$$

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{A} F_{in} - \frac{K_c}{A} \sqrt{H} \quad (3.6)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (3.2) ke persamaan (2.17), sehingga pemodelan matematis untuk Konsentrasi menjadi:

$$\frac{dC_o}{dt} = \frac{K_p}{AH} \{(C_1 - C_o)F_1 + (C_2 - C_o)F_2\} \quad (3.7)$$

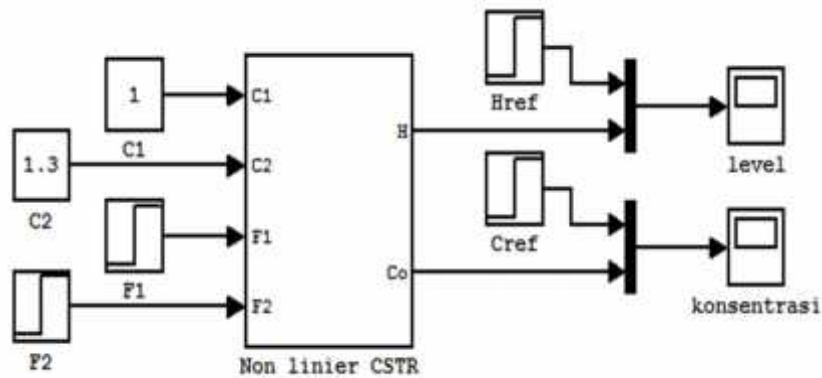
$$\frac{dC_o}{dt} = \frac{K_p}{AH} (C_{in} - C_o)(F_1 + F_2) \quad (3.8)$$

$$\frac{dC_o}{dt} = \frac{K_p}{AH} \{C_{in}(F_1 + F_2) - C_o(F_1 + F_2)\} \quad (3.9)$$

$$\frac{dC_o}{dt} = \frac{K_p}{AH} \{C_{in}F_{in} - C_oF_{in}\} \quad (3.10)$$

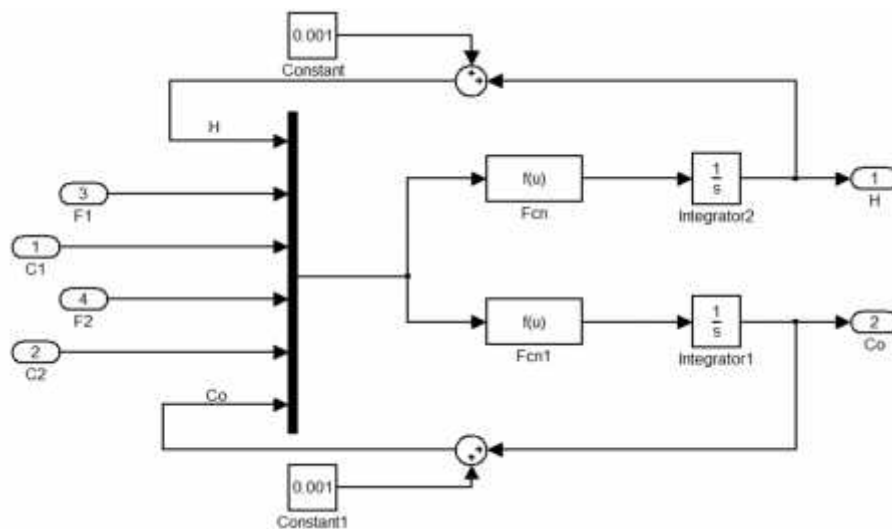
Setelah didapatkan hubungan antara input sebenarnya dan virtual manipulated input. Pengujian *open loop* akan dilakukan kembali untuk memeriksa decoupler yang dirancang telah berhasil menghilangkan pengaruh *coupled system*.

Pengujian *open loop* dilakukan untuk melihat perilaku sistem sebelum dirancang pengendali. Pengujian *open loop* sistem CSTR dapat digambarkan dengan diagram blok sederhana yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Pengujian *open loop* pengendalian *level* dan konsentrasi dirancang berdasarkan persamaan (2.11) dan (2.17) dengan data parameter proses seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

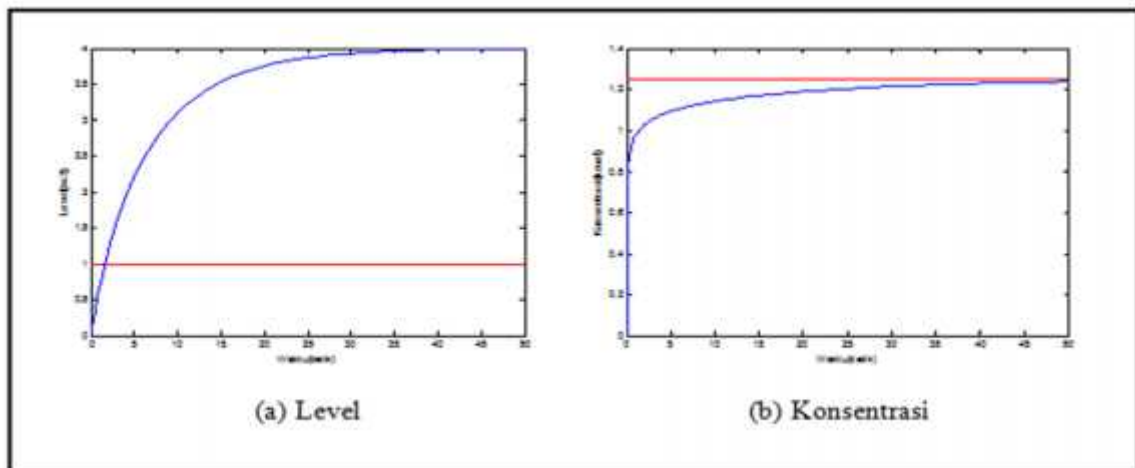


Gambar 3.3. Diagram Blok *Open Loop* CSTR

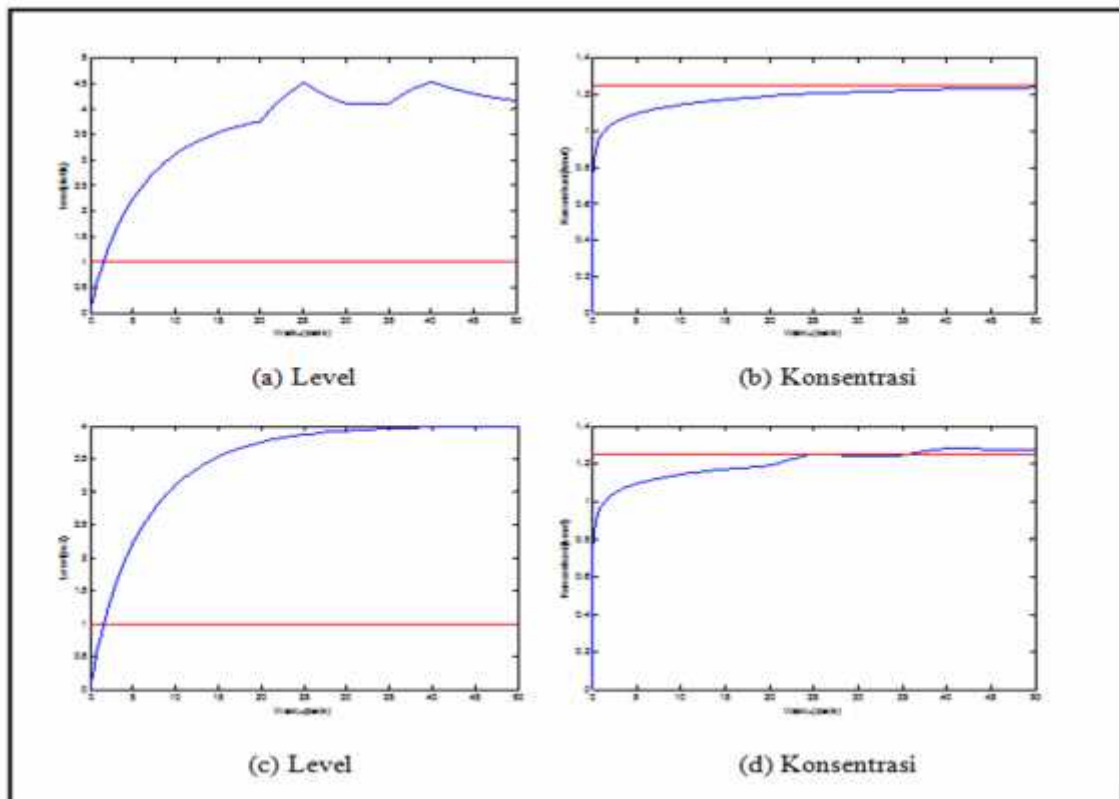
Sistem pengendalian CSTR seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 memiliki dua masukan yaitu Laju aliran (F_{in}) dan konsentrasi (C_{in}) sebagai masukan pada *decouple sistem*. Variabel yang dikendalikan adalah *level* (H) dan konsentrasi fluida keluaran (C_0). Simulasi dilakukan dengan menggunakan program simulink Matlab. Program simulink Matlab yang menunjukkan simulasi *open loop* pengendalian *level* dan konsentrasi berdasarkan persamaan (2.11) dan (2.17) ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Blok Simulink Simulasi *Open Loop* Pengendalian *Level* dan Konsentrasi



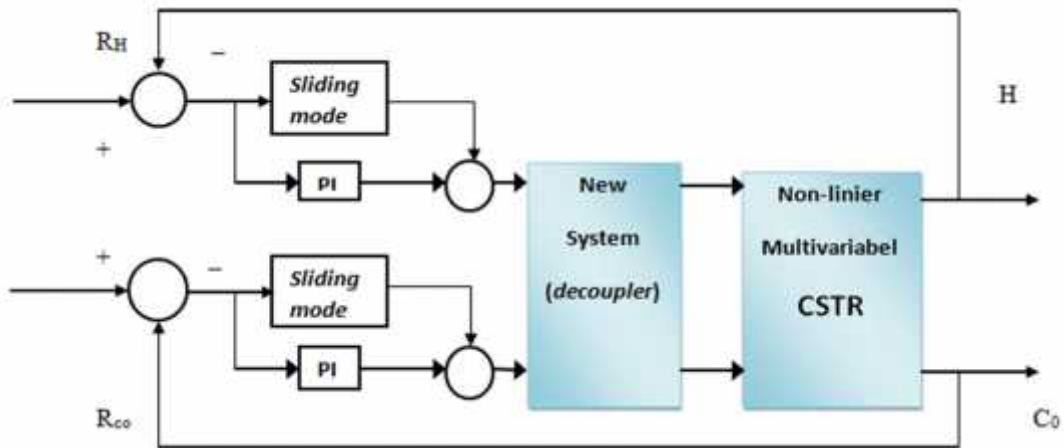
Gambar 3.5 Respon *Level* dan *Konsentrasi* pada saat Pengujian simulasi *Open loop*



Gambar 3.6 Respon *Level* dan *Konsentrasi decoupler* dengan gangguan 0.2% dari sinyal kendali F_{in} dan C_{in}

3.5 Perancangan Pengendali *Sliding Mode*

Perancangan *decoupler* telah dilakukan. Dengan demikian, pengendali *sliding mode* dapat diterapkan pada sistem baru secara *decouple*, artinya pengendali *sliding mode* akan mengendalikan masing-masing *level* dan konsentrasi secara terpisah. Diagram blok pengendalian *level* dan konsentrasi pada sistem CSTR secara sederhana ditunjukkan pada Gambar 3.21.



Gambar 3.7 Diagram Blok Pengendalian CSTR

Pemodelan matematika mengacu persamaan (2-15), (2-21), dan (3-1), (3-2) :

$$\dot{H} = \frac{1}{A} F_{in} - \frac{k}{A} \sqrt{H} \quad (3-11)$$

$$\dot{C}_0 = \frac{1}{AH} \{-C_0 F_{in} + C_{in} F_{in}\} \quad (3-12)$$

dimisalkan :

$$\frac{1}{A} = a_1 = b_2 \qquad -\frac{K_c}{A} = b_1$$

$$-\frac{C_0 F_{in}}{H} = a_2 \qquad \frac{F_{in}}{AH} = c$$

maka dapat dituliskan :

$$\dot{H} = a_1 F_{in} + b_1 \sqrt{H} \quad (3-13)$$

$$\dot{C}_0 = K_p a_2 b_2 + c C_{in} \quad (3-14)$$

3.5.1 Perancangan Pengendali *Sliding Mode* untuk Mengendalikan *Level* pada CSTR

Tracking *error* dari *level* adalah :

$$\tilde{H} = H_{ref} - H \quad (3-15)$$

Berdasarkan persamaan (2-3), karena sistem berorde satu maka *tracking error* dari sistem.

$$S\tilde{H}, t = H_{ref} - H \quad (3-16)$$

substitusikan persamaan (3-24) ke persamaan (3-28) :

$$\dot{S}\tilde{H}, t = \dot{H}_{ref} - a_1 F_{in} + b_1 \sqrt{H} \quad (3-17)$$

selanjutnya tentukan nilai \hat{F}_{in} dari persamaan (3-29) dengan $\dot{S} = 0$

$$\dot{H}_{ref} - a_1 F_{in} + b_1 \sqrt{H} = 0$$

sehingga diperoleh nilai u_{eq} atau \hat{F}_{in}

$$\hat{F}_{in} = -\frac{1}{a_1} (b_1 \sqrt{H} - \dot{H}_{ref}) \quad (3-18)$$

berdasarkan persamaan (2-8) diperoleh sinyal u_n sebagai berikut :

$$u = u_{eq} + u_n \quad (3-19)$$

$$\dot{V} = S(\dot{H}_{ref} - a_1 \left\{ \frac{1}{a_1} (-b_1 \sqrt{H} - \dot{H}_{ref}) + a_1 u_n \right\} + b_1 \sqrt{H}) \quad (3-20)$$

$$u_n = -\frac{Y}{a_1} |S| \quad \text{atau} \quad u_n = -\frac{Y}{a_1} \text{sign}(S) \quad (3-21)$$

sehingga sinyal kendali u total sebagai berikut :

$$F_{in} = -\frac{1}{a_1} (b_1 \sqrt{H} - \dot{H}_{ref}) - \frac{y}{a_1} \text{sign}(S) \quad (3-22)$$

untuk mengurangi *chattering* fungsi *sign* diubah menjadi fungsi *sat*.

$$F_{in} = -\frac{b_1 \sqrt{H}}{a_1} - \left| \max \frac{y}{a_1} \right| \text{sat}(S, v) \quad (3-23)$$

dengan nilai v dan y dipilih 1 dan 20

3.5.2 Perancangan Pengendali *Sliding Mode* untuk Mengendalikan Konsentrasi pada CSTR

Tracking *error* dari konsentrasi adalah :

$$\tilde{C}_0 = C_{0ref} - C_0 \quad (3-24)$$

berdasarkan persamaan (2-3) karena sistem berorde satu maka dibentuk fungsi permukaan luncur berdasarkan tracking *error*.

$$sC_{0,t} = C_{0ref} - C_0 \quad (3-25)$$

untuk mendapatkan persamaan u_{eq} , persamaan (3-26) diturunkan

$$\dot{s}C_{0,t} = \dot{\tilde{C}}_0 = \dot{C}_{0ref} - \dot{C}_0 \quad (3-26)$$

substitusikan persamaan (3-14) ke persamaan (3-27)

$$\dot{s}C_{0,t} = \dot{C}_{0ref} - K_p a_2 b_2 + cC_{in} \quad (3-27)$$

selanjutnya tentukan nilai \hat{C}_{in} dari persamaan (3-27) dengan $\dot{s} = 0$

sehingga diperoleh nilai u_{eq} atau \hat{C}_{in} sebagai berikut :

$$\hat{C}_{in} = -\frac{1}{c} (K_p a_2 b_2 - \dot{C}_{0ref}) \quad (3-28)$$

berdasarkan persamaan (2-8) diperoleh sinyal kendali u_n sebagai berikut :

$$u = u_{eq} + u_n$$

$$\dot{V} = S(\dot{C}_{0ref} - K_p a_2 b_2 + c \left\{ \frac{1}{c} (-K_p a_2 b_2 + \dot{C}_{0ref}) + c u_n \right\}) \quad (3-29)$$

$$u_n = -\frac{y}{c} |S| \quad \text{atau} \quad u_n = -\frac{y}{c} \text{sign}(S) \quad (3-30)$$

untuk mengurangi *chattering* fungsi sign diubah menjadi fungsi sat,

$$C_{in} = -\frac{1}{c} (a_2 b_2 - \dot{C}_{0ref}) - \frac{y}{c} \text{sat}(S, v) \quad (3-31)$$

dengan nilai v dan y dipilih 1 dan 20

3.5.3 Perancangan Pengendali *Hybrid Proposional Integral Sliding mode* untuk Mengendalikan *Level*

Berdasarkan perancangan static SM ditambahkan pengendali PI rancangan tersebut. Sinyal kendali SMC seperti terlihat pada persamaan (3-24) dengan ditambah kan PI didapat :

$$F_{in} = -\frac{b_1 \sqrt{H}}{a_1} - \left| \max \frac{y}{a_1} \right| \text{sat}(S, v) + K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

Perancangan Pengendali *Hybrid Proposional Integral Sliding mode* untuk mengendalikan *Level*

dengan langkah yang sama dengan perancangan *static sliding mode* diperoleh sinyal u total sebagai berikut :

$$F_{in} = -\frac{1}{a_1} (b_1 \sqrt{H} + H_{ref} - \beta_1 H + \beta_1 H_{ref}) - \left| \max \frac{y}{a_1} \right| \text{sat}(S, v) + K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

....(3-32)

3.5.4 Perancangan Pengendali *Hybrid Proporsional Integral Sliding mode* untuk Mengendalikan Konsentrasi

Berdasarkan perancangan static SM ditambahkan pengendali PI rancangan tersebut. Sinyal kendali SMC seperti terlihat pada persamaan (3-32) dengan ditambah kan PI didapat :

$$C_{in} = -\frac{1}{c} (a_2 b_2 - \dot{C}_{0ref}) - \frac{\eta}{c} \text{sat}(S, \varepsilon) + K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

dengan langkah yang sama dengan perancangan static *sliding mode* diperoleh sinyal u total sebagai berikut :

$$C_{in} = -\frac{1}{c} (K_p a_2 b_2 + \dot{C}_{0ref} + \beta_2 C_0 - \beta_2 C_{0ref}) - \left| \max \frac{y}{c} \right| \text{sat}(S, v) + K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

....(3-33)